

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

**Sveučilišni studij**

**INTEGRIRANE SMART ANTENE**

**Završni rad**

**Rajko Grabusin, 3172**

**Osijek, 2015.**



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

**ETFOS**

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK



**Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom studiju**

Osijek, 17. rujna 2015.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada**

**Ime i prezime studenta:**

Rajko Grabusin

**Studij, smjer:**

Elektrotehnika, smjer: Elektroenergetika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

3172, 2010.

**Mentor:**

Doc.dr.sc. Slavko Rupčić dipl.ing.

**Sumentor:**

**Naslov završnog rada:**

Integrirane smart antene

**Primarna znanstvena grana rada:**

Elektrotehnika

**Sekundarna znanstvena grana (ili polje) rada:**

Komunikacije

**Predložena ocjena završnog rada:**

**Kratko obrazloženje ocjene prema  
Kriterijima za ocjenjivanje završnih i  
diplomskih radova:**

Potpis sumentora:

Potpis mentora:

Dostaviti:

1. Studentska služba

Potpis predsjednika Odbora:

Dostaviti:

1. Studentska služba



Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

**ETFOS**

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK



## IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 17. rujna 2015.

Ime i prezime studenta:

Rajko Grabusin

Studij :

Elektrotehnika

Mat. br. studenta, godina upisa:

3172, 2010.

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Integrirane smart antene**

izrađen pod vodstvom mentora doc.dr.sc. Slavka Rupčića dipl.ing.

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Zadatak završnog rada.....	1
2. ANTENA.....	2
2.1. Parametri antena .....	4
3. SMART ANTENE .....	11
3.1. Način rada smart antene .....	12
3.2. Izvedbe smart antena .....	14
3.3. Dijelovi smart antene .....	16
3.4. Prednosti i nedostaci smart antena .....	19
4. MJERENJA PROVEDENA NA SMART ANTENI.....	21
4.1. Odnos signala i šuma u odnosu na broj kanala .....	21
4.2. Odnos impedancije i frekvencije.....	21
4.3. Efikasnost spektra u odnosu na broj kreiranih snopova .....	22
4.4. Gubitci po putu između predajnika i prijemnika.....	23
4.5. Dijagram zračenja .....	23
4.6. Procjena troškova .....	24
ZAKLJUČAK .....	26
LITERATURA.....	27
SAŽETAK.....	28
ŽIVOTOPIS .....	29

# **1. UVOD**

Smart antenna je sustav od više antena sa mogućnošću digitalne obrade signala kako bi se optimiziralo odašiljanje ili primanje signala s obzirom na njegovu okolinu. Početci razvoja tehnologije smart antena sežu u sedamdesete godine dvadesetog stoljeća.

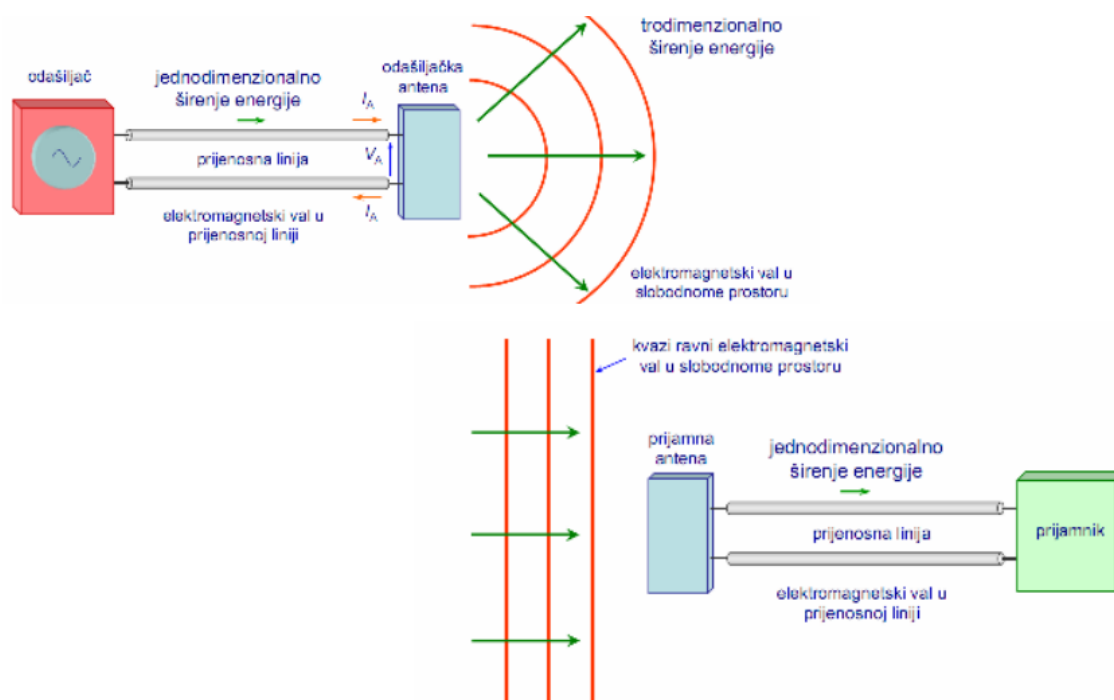
U drugom poglavlju („Antena“) opisano je što je antena i što su parametri antena. U trećem poglavlju („Smart antene“) opisane su smart antene, način rada, izvedba i glavni dijelovi – predajnik i prijemnik te prednosti i nedostaci smart antena. U četvrtom poglavlju („Mjerenja provedena na smart anteni“) opisana su mjerenja provedena na smart anteni a to su odnos signala i šuma u odnosu na broj kanala, odnos impedancije i frekvencije, efikasnost spektra u odnosu na broj kreiranih snopova, dijagram zračenja, procjena troškova.

## **1.1. Zadatak završnog rada**

Načiniti analizu rada SMART antene UHF frekvencijskog područja. Istražiti i opisati najnovije rezultate izvedbe i mjerenja integriranih SMART antena.

## 2. ANTENA

Antena je sredstvo ili naprava za odašiljanje i primanje radijskih valova. Naprava koja energiju elektromagnetskog vala vođenog prijenosnom linijom efikasno pretvara u energiju elektromagnetskog vala koji se širi prostorom. Odašiljačka antena pretvara jednodimenzionalni elektromagnetski val iz prijenosne linije u trodimenzionalni elektromagnetski val u slobodnome prostoru. Prijemna antena pretvara trodimenzionalni elektromagnetski val iz slobodnog prostora u val u prijenosnoj liniji. Osnovna funkcija je prilagodba 3d vala iz slobodnog prostora 1d valu u prijenosnoj liniji i obratno. Slika 2.1 grafički prikazuje način rada antene. [1]



Slika 2.1 Grafički prikaz rada antene [1]

Elektromagnetski valovi određene frekvencije i valne dužine emitira antena predajnika. Sastoje se od električnog i magnetskog polja koja su međusobno okomita i istovremeno se kreću kroz prostor i prilikom dolaska na antenu prijmnika u njoj induciraju električnu struju koja se preko pojačala pretvara u pogodan oblik za prikazivanje. Električno polje je uvijek u ravnini antene, a magnetsko polje je okomito na njega. Slika 2.2 prikazuje odnos električnog i magnetskom polja u elektromagnetskom valu.

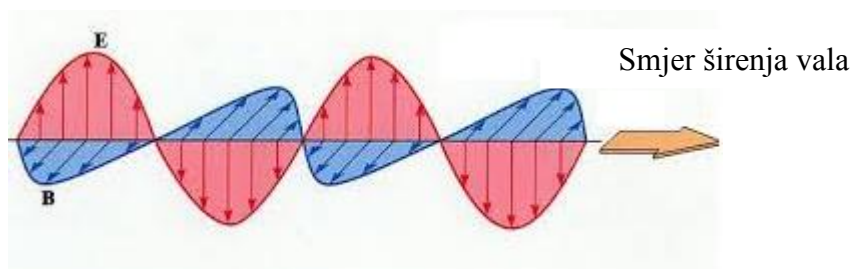
Elektromagnetski val je neprekidno osciliranje električnog i magnetskog polja određeno frekvencijom ( $f$ ) i valnom duljinom ( $\lambda$ ) što je povezano sljedećom jednažbom:

$$c = f * \lambda \quad (2-1)$$

$c$  - brzina rasprostiranja vala, iznosi 300 000 km/s

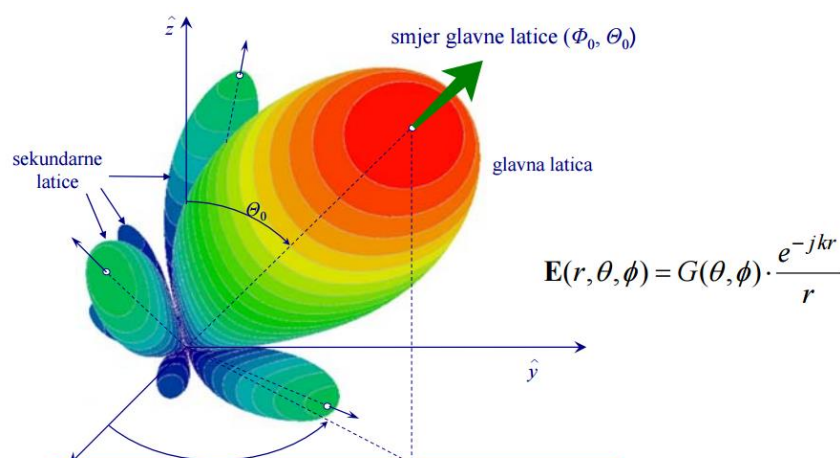
$f$  - frekvencija

$\lambda$  - valna duljina

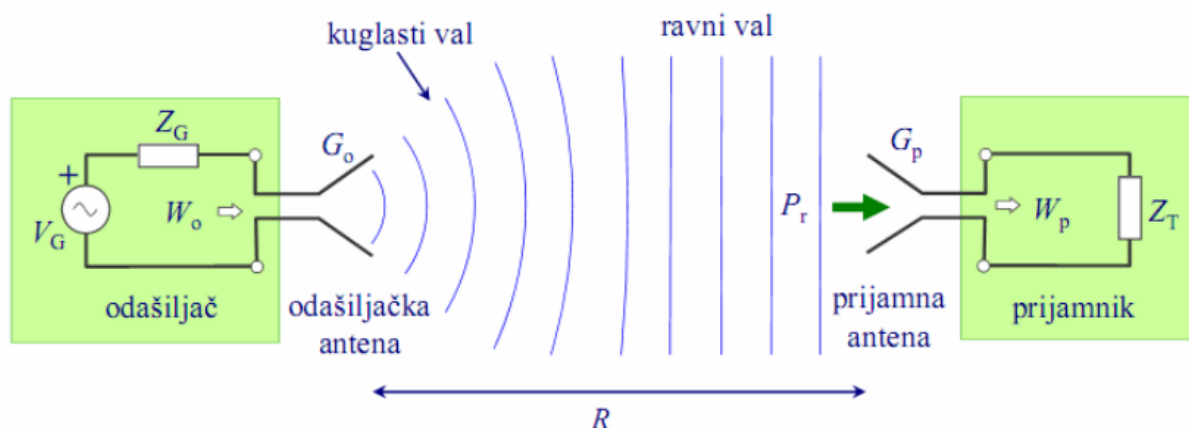


Slika 2.2 Prikaz odnosa električnog i magnetskog polja u elektromagnetskom valu [2]

Kroz prostor energija koju posjeduju elektromagnetski valovi po jedinici površine se smanjuje obrnuto proporcionalno od udaljenosti od izvora. Razlog tome je što se njihova energija rasprostire na sve veću površinu sfere prostora. Također nastaju gubitci elektromagnetske energije zbog apsorpcije kroz atmosferu Zemlje. Pri tome vrijedi temeljno pravilo da su gubitci veći za elektromagnetske valove manjih valnih duljina, a manji za elektromagnetske valove većih valnih duljina. Elektromagnetski valovi male valne duljine se prostiru skoro pravocrtno jer njihova refrakcija ima male vrijednosti, dok elektromagnetski valovi velike valne duljine pri prostiranju blago prate zakrivljenost Zemlje. Povoljnim oblikom antene elektromagnetski valovi se mogu usmjeravati, odnosno prostirati se u određenom užem, ili širem snopu koji ovisi o valnoj dužini elektromagnetskih valova i o dimenzijama i oblika antenskog sustava. S obzirom na činjenicu da se sva elektromagnetska energija ne može usmjeriti samo u jednom smjeru, određeni dio energije emitiranja se emitira izvan tog smjera u smjeru sekundarnih latica - gubitak energije (Slika 2.3).



Slika 2.3 3d prikaz smjera glavne i sekundarnih latica [3]



Slika 2.4 Načelo rada odašiljačke i prijemne antene [1]

Odašiljač je nadomješten ekvivalentom koji sadrži naponski izvor i serijski spoјenu impedanciju. Ovaj strujni krug na odašiljačku antenu prenosi snagu  $P_t$ . Iz velike udaljenosti moguće je odašiljačku antenu promatrati kao točkasti izvor, ona odašilje sferni val kojem je fazno središte sama antena. Kod sfernog vala površina jednake faze (ekvifazna površina) je površina kugle sa središtem u faznom središtu antene. U ograničenom prostoru na velikoj udaljenosti od točkastog izvora sferni val je moguće nadomjestiti ravnim (planarnim) valom kojemu je ekvifazna površina ravnina. Prijemna antena zahvaća dio elektromagnetskog vala na opterećenje prenosi snagu  $P_r$ . Pritom je prijamnik nadomješten impedancijom  $Z_T$ .

## 2.1. Parametri antena

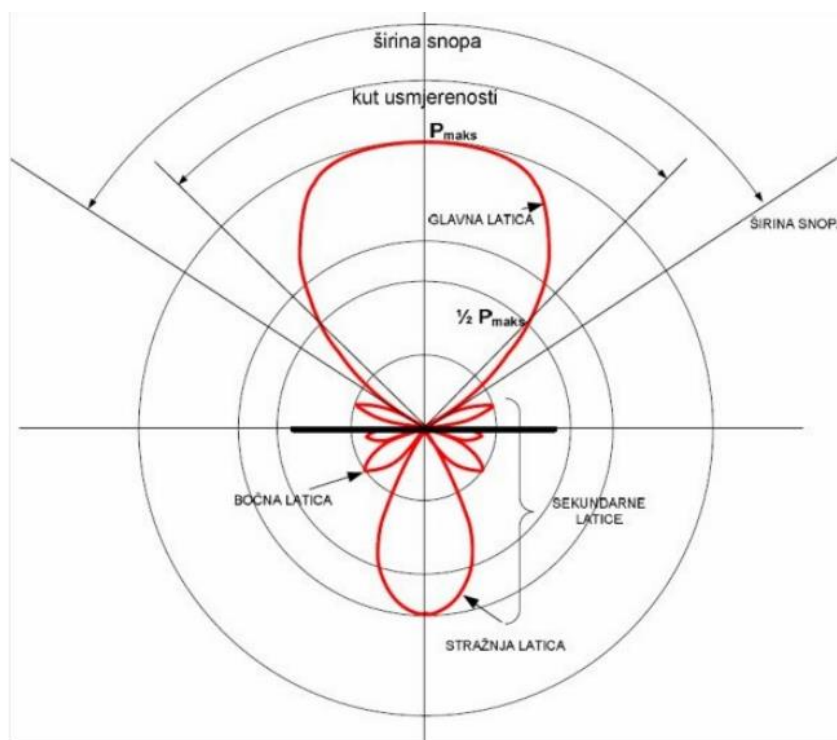
Parametri antena služe za opisivanje karakteristika antene. [1]

### 2.1.1. Dijagram zračenja

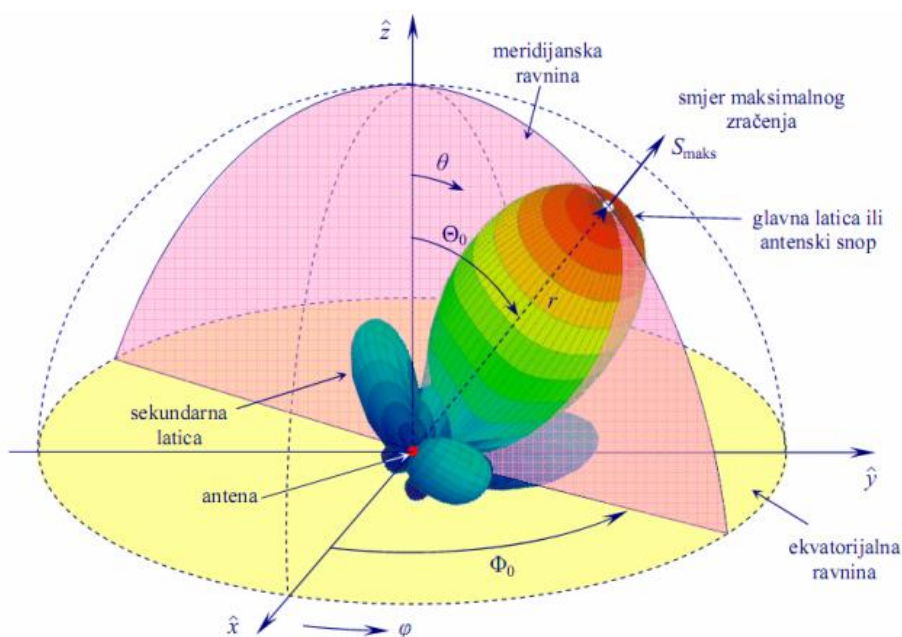
Svako elektromagnetsko zračenje koje proizvede antena bilo kakvog geometrijskog oblika ponaša se kao sferni val ako je udaljenost od antene dovoljno velika. Pri tome, za velike udaljenosti svaka se antena može predočiti kao točkasti izvor, a zračenje iz takvog izvora je radijalno. Raspodjela gustoće snage na površini kugle dovoljno velikog polumjera nazivamo prostorni dijagram zračenja. Dijagram zračenja prikazuje se u logaritamskome ( $dB$ ) ili linearnom mjerilu u relativnim vrijednostima u odnosu na maksimum zračenja koji tada iznosi  $0\text{ dB}$ , odnosno 1. Promjena gustoće snage sa kutnim položajem je određena sa vrstom antene te se grafički prikazuje kao dijagram zračenja. U većini komunikacijskih sustava traži se primanje



elektromagnetske energije samo u jednom smjeru pa antena ima obično samo jedan glavni snop i više sekundarnih latica. Razine sekundarnih latica su obično niže razine zračenja od razine zračenja u glavnom smjeru te su obično u neželjenom smjeru. Slika 2.5 prikazuje dijagram zračenja antene.

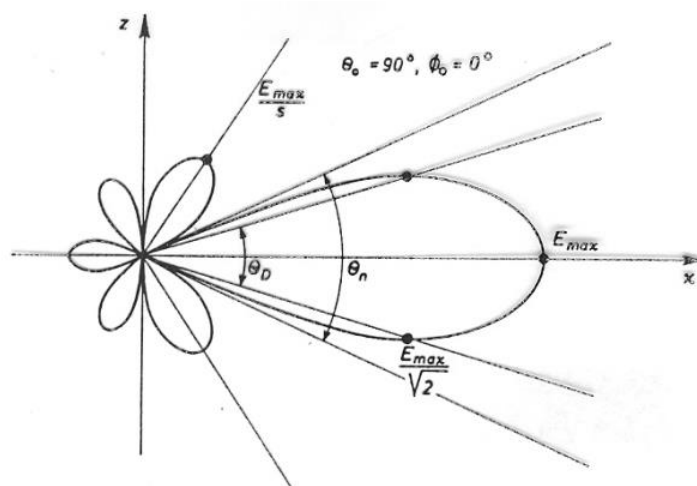


Slika 2.5 Dijagram zračenja antene [4]



Slika 2.6 Prostorni dijagram zračenja antene Antena se nalazi u ishodištu cilindričnog koordinatnog sustava. Bojom je označena intenzitet zračenja (plavo → crveno) [1]

Umjesto prostornog dijagrama zračenja obično se uzimaju presjeci prostornog dijagrama zračenja u dvije međusobno ortogonalne ravnine, ravnine električnog i magnetskog polja ili u vertikalnoj (meridijanskoj) i horizontalnoj (ekvatorijalnoj) ravnini. Slika 2.7 prikazuje vertikalni dijagram zračenja. Kut  $\varphi$  u horizontalnoj ravnini zove se obilazni kut ili kut azimuta, a kut  $\theta$  u vertikalnoj ravnini zove se polarni kut. Njemu je komplementaran kut elevacije ( $90^\circ - \theta$ ). Dijagram se obično normira veličinom gustoće snage u smjeru najvećeg zračenja, pa tada u smjeru najvećeg zračenja pokazuje jediničnu vrijednost.



Slika 2.7 Vertikalni dijagram zračenja [1]

### Parametri dijagrama zračenja

Smjer maksimalnog zračenja ( $\theta_0$  i  $\varphi_0$  tj. vertikalna i horizontalna ravnina) je smjer u kojem zračeno polje ima maksimalnu amplitudu. Kut usmjerenosti ( $\theta_D$ ) je kut oko glavnog smjera zračenja unutar kojeg gustoća zračene snage ne pada ispod polovice one snage koja se zrači u smjeru maksimalnog zračenja (za polje ne ispod  $\frac{E_{max}}{\sqrt{2}}$ ). Širina snopa ( $\theta_n$ ) je kut između prvih nultočaka s jedne i druge strane maksimalnog zračenja. Faktor potiskivanja sekundarnih latica ( $s$ ) je odnos između jakosti polja u smjeru maksimalnog zračenja i onog u smjeru maksimuma najveće sekundarne latice.

#### 2.1.2. Usmjerenost i dobitak

Usmjerenost antene je omjer gustoće snage u smjeru maksimalnog zračenja i srednje gustoće snage na fiksnoj udaljenosti od antene.

$$D = \frac{Pr_{maks}}{Pr_{sred}} = \frac{4\pi R^2 Pr_{maks}}{W_z} \quad (2-2)$$

Srednja gustoća snage jednaka je ukupnoj zračevoj snazi antene podijeljenom sa oplošjem kugle polumjera R u čijem središtu je antena. ( $W_0$  je zračena snaga).

$$P_{r,sred} = \frac{W_0}{4\pi R^2} \quad (2-3)$$

Usmjerenost možemo definirati i kao broj koji nam pokazuje koliko puta zračena snaga izotropnog radijatora mora biti veća od zračene snage promatrane antene da bi na jednakoj udaljenosti gustoća snage koju usmjerena antena zrači u smjeru maksimalnog zračenja. Izotropni radijator je zamišljena antena koja zrači u svim smjerovima jednako ili koja jednako prima iz svih smjerova.

### 2.1.3. Dobitak

Veza dobitka antene i usmjerenosti glasi:

$$G = k_z * D \quad (2-4)$$

Faktor proporcionalnosti je faktor iskorištenja antene ili učinkovitosti antene. Dobitak je broj koji govori koliko puta mora biti veća zračena snaga izotropnog radijatora u odnosu na privedenu snagu promatrane antene da bi se na jednakoj udaljenosti dobila gustoća snage kao na smjeru maksimalnog zračenja usmjerene antene. Dobitak je tehnički podatak antene koji daje proizvođač, i to obično u dB.

### 2.1.4. Polarizacija

Polarizacija vala je određena krivuljom koju opisuje vrh vektora električnog polja. Pod polarizacijom antene podrazumijeva se polarizacija vala koji antena zrači promatrano u smjeru maksimalnog zračenja.

Razlikujemo tri vrste polarizacije:

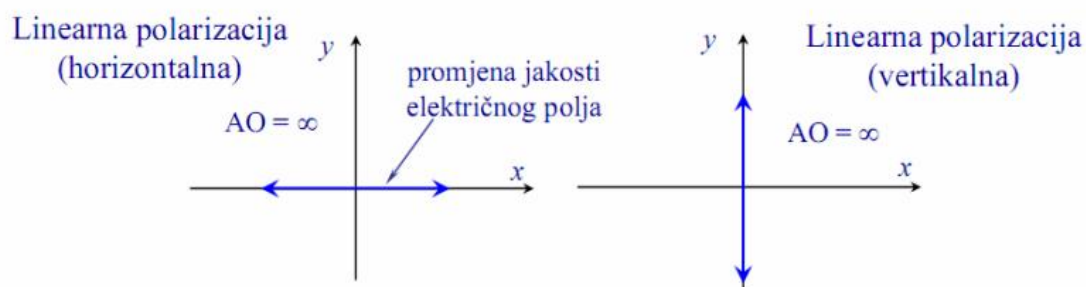
- Linearna – horizontalna ili vertikalna
- Kružna – desna ili lijeva
- Eliptična

Slika 2.8 prikazuje linearnu polarizaciju antene a Slika 2.9 kružnu i eliptičnu.

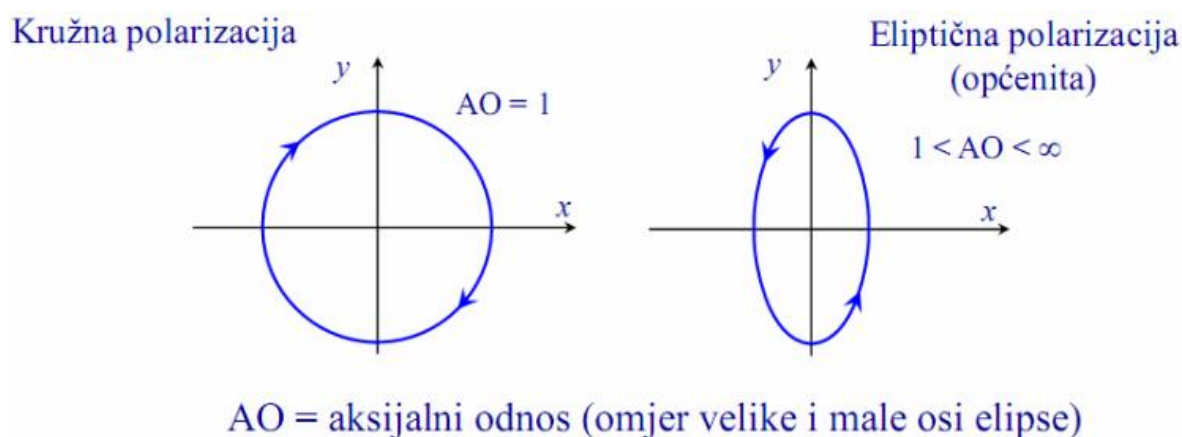
Prijemna antena mora imati istu polarizaciju kao i odašiljačka ako želimo maksimalnu snagu na prijemniku. Polarizacija se može definirati pomoću:

- Aksijalnog odnosa (omjer male i velike osi elipse u eliptičnoj polarizaciji)
- Smjera u koje se vrti vrh vektora električnog polja (lijeva ili desna)
- Orijentacije velike osi elipse u prostoru za eliptičnu polarizaciju

Polarizacija se definira u smjeru maksimalnog zračenja antene.



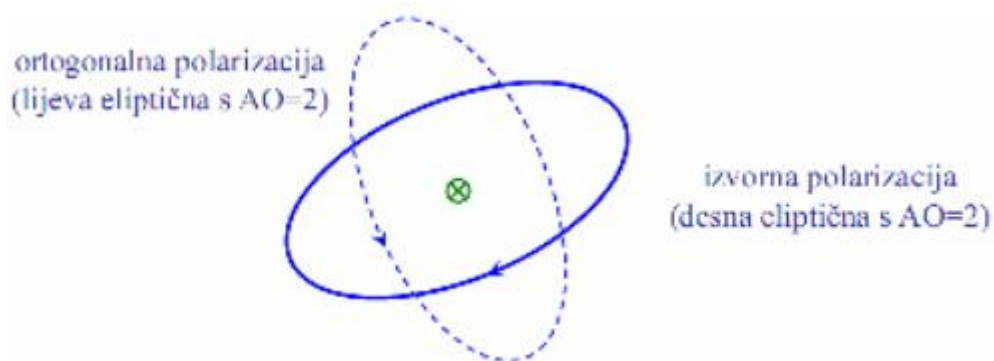
Slika 2.8 Linearna polarizacija [1]



AO = aksijalni odnos (omjer velike i male osi elipse)

Slika 2.9 Kružna i eliptična polarizacija [1]

Linearno polarizirani ortogonalni valovi imaju međusobno okomita polja. Kružno polarizirani valovi imaju suprotne smjerove vrtnje (desna i lijeva kružna polarizacija). Eliptično polarizirani ortogonalni valovi imaju isti aksijalni odnos, ali su im smjerovi vrtnje suprotni i velike osi elipse međusobno okomite. Antene ne mogu primiti valove ortogonalne polarizacije.

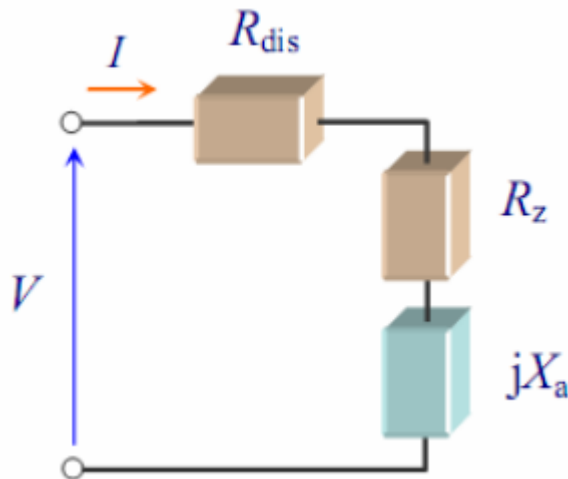


Slika 2.10 Ortogonalna polarizacija [1]

### 2.1.5. Impedancija antene

Svaka odašiljačka antena priključena na generator signala preko linije može se predočiti kao pasivni dvopol. Kvocijent napona i struje na tom dvopolu predstavlja impedanciju. Ako se antena nalazi u slobodnom prostoru posve sama tako da su svi objekti smješteni na velikoj udaljenosti, onda se impedancija na priključnicama antene naziva vlastita impedancija antene. Kako odašiljačka antena zrači u prostor snagu, generator tu snagu doživljava kao gubitak snage jer snaga napušta elektromagnetski sustav. Gubitak snage se može predstaviti jednim zamišljenim otporom koji je dio omske komponente vlastite impedancije, a naziva se otpor zračenja  $R_z$  koji se definira kao ekvivalentan otpor na kojem se troši snaga jednaka ukupnoj zračevoj snazi antene, ako je struja kroz taj otpor jednaka struji kroz stezaljke antene. Slično se gubici u vodičima i dielektričnim dijelovima antene mogu prikazati otporom  $R_{dis}$ . Slika 2.11 prikazuje grafički prikaz parametara antena. Stoga se konačni izraz za impedanciju antene može napisati kao:

$$Z_a = R_a + jX_a = R_z + R_{dis} + jX_a \quad (2-5)$$



Slika 2.11 Grafički prikaz parametara antena [1]

U stvarnoj anteni dolazi do gubitka jer se dio privedene snage generatora troši u vodičima i dielektricima unutar same antene. Stoga je korisno definirati faktor učinkovitost zračenja, kao omjer zračene snage i ukupne snage privedene anteni.

$$\eta = \frac{I^2 R_z}{I^2 (R_z + R_d)} = \frac{R_z}{R_z + R_d} \quad (2-6)$$

$$0.5 < \eta < 0.7 \text{ (ali može biti i blizu 1 tj. 100\%)}$$

### 2.1.6. Efektivna površina

Efektivna površina prijemne antene  $A_{ef}$  se definira kao omjer snage apsorbirane na prilagođenom teretu  $W_p$  priključenom na antenu i gustoće snage upadnog elektromagnetskog vala:

$$A_{ef} = \frac{W_p}{P_r} \quad (2-7)$$

$$P_r = E_{ef} * H_{ef} \quad (2-8)$$

Veza između efektivne površine antene i usmjerenosti glasi:

$$D = \frac{4 * \pi}{\lambda^2} * A_{ef} \quad (2-9)$$

Veza je općenita i vrijedi za sve vrste antena.

### 2.1.7. Efektivna duljina

Efektivna duljina  $l_{ef}$  ili  $h_{ef}$  prijemne antene jest kvocijent napona na stezaljkama otvorene antene i jakosti električnog polja na mjestu prijema:

$$l_{ef (pr)} = \frac{U_p}{E} \quad (2-10)$$

Pretpostavlja se da antena ima jednaku polarizaciju kao i upadni val te da joj je maksimum glavne latice usmjeren prema izvoru zračenja.

### 2.1.8. Temperatura šuma

Temperatura šuma definira se za prijemnu antenu. Ona je mjera za snagu šuma koju antena predaje na ulazu u prijemnik. Glavni dio snage šuma ovisi o vanjskim izvorima šuma i njihovom položaju u odnosu prema dijagramu zračenja.

$$T_a = \frac{P_{\text{š}}}{k * B} \quad (2-11)$$

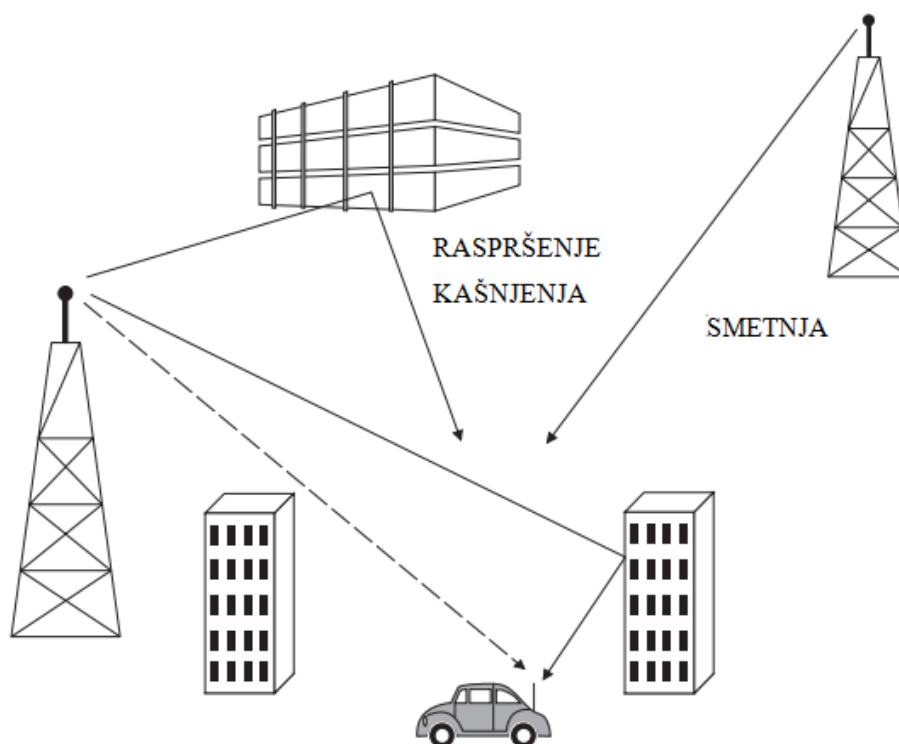
$P_{\text{š}}$  – raspoloživa snaga šuma na ulazu u prijemnik

$k$  – Boltzmanova konstanta

$B$  - širina frekvencijskog pojasa

### 3. SMART ANTENE

Smart antenna je sustav od više antena sa mogućnošću digitalne obrade signala kako bi se optimiralo odašiljanje ili primanje signala s obzirom na njegovu okolinu. Iako se čini da su sustavi pametnih antena relativno nova tehnologija, temeljni principi na kojima su bazirani nisu novi. Njihovi početci sežu u 1970. i 1980 godine. Najprije su se koristili u vojne svrhe, točnije u elektroničkom ratovanju kao protumjere elektroničkom ometanju signala. U vojnim radarima slični sustavi su se već koristili za vrijeme Drugog svjetskog rata. Iako zbog današnjeg razvoja jeftinijih procesora za obradu signala, integriranih aplikacija, kao i inovativnog signala na softverskoj bazi (algoritmi) sustavi smart antena postupno postaju komercijalno dostupni. Bežični komunikacijski sustavi moraju se nositi sa ometanjem zbog višestrukog korištenja iste frekvencije. Razna istraživanja pokušavaju pronaći tehnologiju kako bi odstranili takve poteškoće u zadnjih 25 godina, otkako je bežična komunikacija doživjela nagli porast. [5]



Slika 3.1 Izobličenja signala bežične mreže [5]

Uz te metode postoji više pristupnih shema, kanala kodiranja i uporaba smart antene. Slika 3.1 prikazuje izobličenja signala bežične mreže. Na njoj imamo sva izobličenja signala s kojima se susreće smart antena. U telekomunikacijskom sustavu antena je pristupna točka kroz koju energija radijske frekvencije povezana sa odašiljača na vanjski svijet za potrebe prijenosa, i u suprotnom na prijemnik iz vanjskog svijeta za potrebe prijema. Način na koji se energija

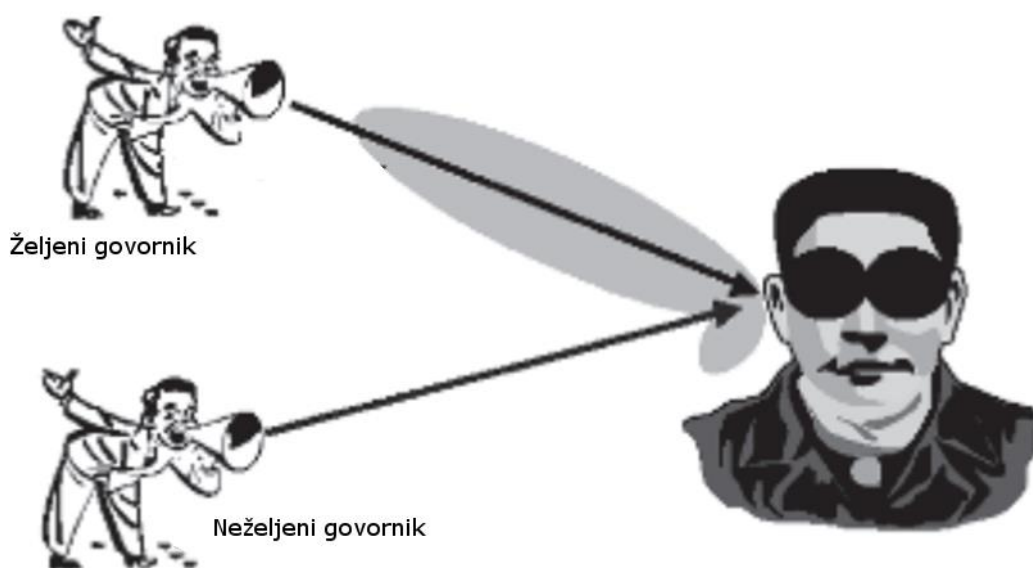
radiofrekvencije širi i skuplja iz prostora ima dubok utjecaj na efikasnost spektra, cijenu osnivanja novih komunikacijskih mreža i kvalitetu usluge koju taj sustav daje.

### 3.1. Način rada smart antene

Osnovna ideja na kojoj je razvijena smart antena se često uspoređuje sa jednostavnim primjerom ljudskog slušnog sustava. Osoba je sposobna odrediti smjer dolaska zvuka u tri stupnja procesa:

- Jedno uho se ponaša kao zvučni senzor i prima signal.
- Zbog razmaka između dva uha svako uho prima signal sa određenim vremenskim razmakom
- Ljudski mozak, specijalizirani procesor signala, radi veliki broj izračuna kako bi našao uzajamnu vezu među informacijama i izračunao lokaciju odakle dolazi zvuk

Zamislamo da dvije osobe razgovaraju u izoliranoj sobi (Slika 3.2). [5]

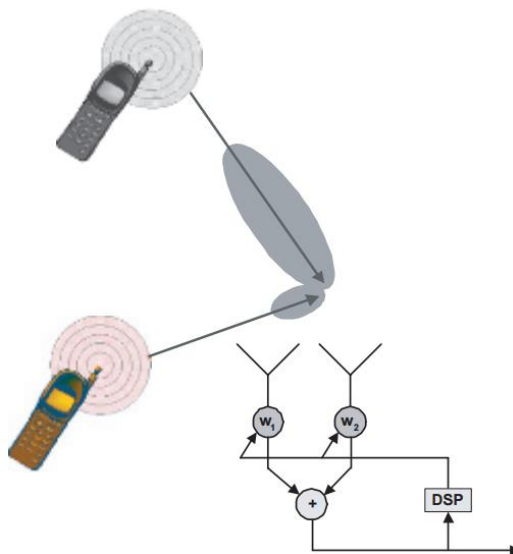


Slika 3.2 Primjer dolaska zvuka u ljudsko uho [5]

Slušatelj je sposoban odrediti lokaciju govornika kako se kreće kroz sobu zato što glas govornika dolazi na oba zvučna senzora, uši, u različito vrijeme. Ljudski „procesor signala“, mozak, izračunava smjer dolaska govora iz vremenske razlike u primanju signala između dva uha. Zatim mozak dodaje jačinu signala iz svakog uha kako se fokusira na zvuk iz izračunatog smjera dolaska signala. Koristeći sličan proces ljudski mozak je sposoban razlikovati između



različitih signala koji imaju različite smjerove dolaska. Sustavi smart antene koriste isti način koristeći dvije antene umjesto dva uha, i digitalni procesor signala umjesto mozga (Slika 3.3)

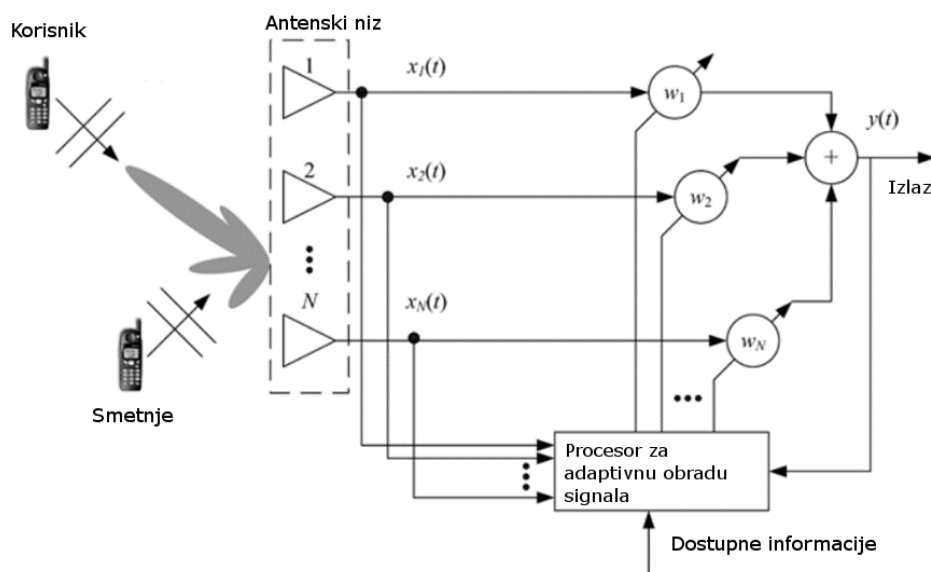


Slika 3.3 Dvoelementna smart antena [5]

Način rada je baziran na vremenskom razmaku udaranja signala u antenske elemente, dok digitalni procesor signala izračunava smjer dolaska signala koji nas zanima, zatim podešava elektronska pobuđenja kako bi se proizveo uzorak radijacije koji se fokusira na signal koji nas zanima iz svih signala koji postoje.

Prenoseći istu ideju na mobilne bežične mreže, bazna stanica igra ulogu slušatelja, a aktivni telefoni igraju ulogu više signala koje čuje ljudsko uho.

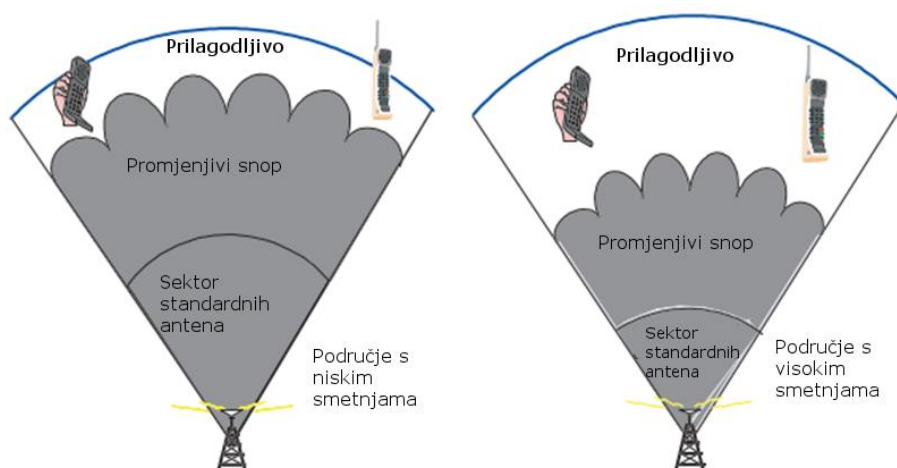
Slika 3.4 prikazuje blok dijagram smart antene.



Slika 3.4 Blok dijagram smart antene [5]

## 3.2. Izvedbe smart antenna

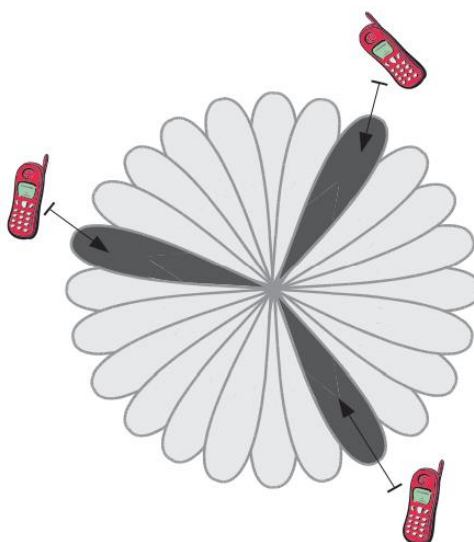
Postoje dva osnovna tipa smart antenna a to su promjenjivi snop i prilagodljivi niz. U prisustvu malih smetnji, oba tipa sustava smart imaju značajne prednosti nad uobičajenim sektoriziranim sustavima. Iako kada imamo prisutne velike smetnje sposobnost odbijanja smetnji prilagodljivih sustava daje značajno veću pokrivenost i od standardnih sustava i od sustava s promjenjivim snopom. Slika 3.5 pokazuje relativnu pokrivenost prostora za standardne sustave, sustave s promjenjivim snopom i sustave sa prilagodljivim nizom antena. [5]



Slika 3.5 Uzorci pokrivenosti antenskih sustava [5]

### 3.2.1. Promjenjivi snop

Promjenjivi snop je najjednostavnija metoda koja se temelji na odabiru jedne od usmjerenih antena ovisno o tome koja pruža najbolje performanse. Sustav ima više fiksnih snopova sa povećanom osjetljivošću u određenim smjerovima. Ovi antenski sustavi otkrivaju snagu signala, odabiru iz jedno od nekoliko unaprijed definiranih, fiksnih snopova, i mijenjaju se sa jednog snopa na drugi dok se mobilni telefon kreće kroz područje. Slika 3.6 primjer promjenjivog snopa u praksi.[5,6]



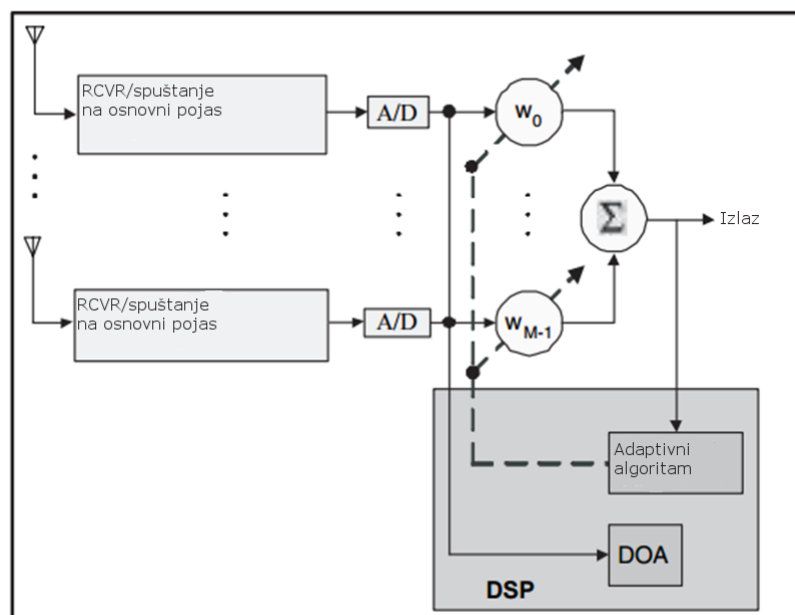
**Slika 3.6** Primjer promjenjivog snopa u praksi [5]

### 3.2.2. Prilagodljivi niz

Prilagodljivi niz teoretski ima beskonačan broj uzoraka baziranih na scenarijima koji su prilagodljivi u realnom vremenu s obzirom na prostorne razlike signala koji nas zanima i koji nas ne zanima. Koristi se DOA algoritam (eng. *direction of arrival*, DOA) za procjenu izvora smetnje ( npr. drugi korisnici). [5,6]

Prilagodljivi niz antena smatra se „najpametnijim“. Sastoji se od antenskih elemenata koji mogu prilagoditi svoj antenski uzorak promjenama u okolini. Antene mijenjaju svoje zračenje ili uzorak prijema dinamično kako bi se prilagodile promjenama u okolini, buci i smetnjama s ciljem poboljšali odnos signala i buke. Ovaj postupak je poznat kao prilagodljivo kreiranje snopa ili digitalno kreiranje snopa.

Slika 3.7 prikazuje blok dijagram sustava adaptivnog niza.



Slika 3.7 Blok dijagram sustava adaptivnog niza [5]

### 3.3. Dijelovi smart antene

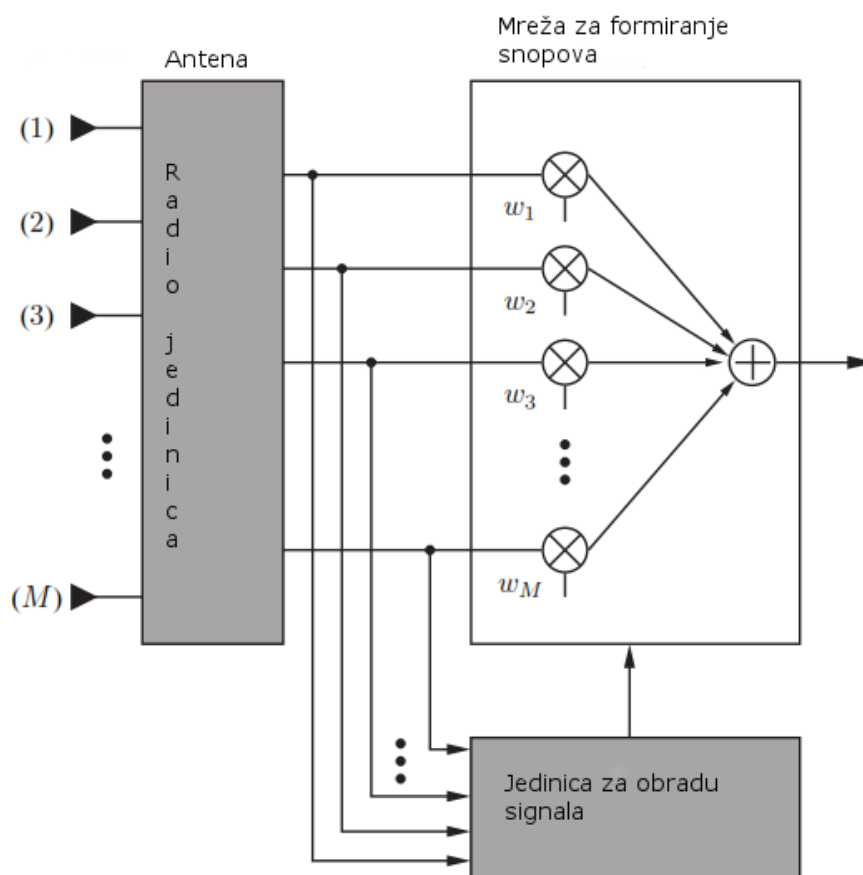
Glavni dijelovi smart antene su prijemnik i predajnik. [5,6]

#### 3.3.1. Prijemnik smart antene

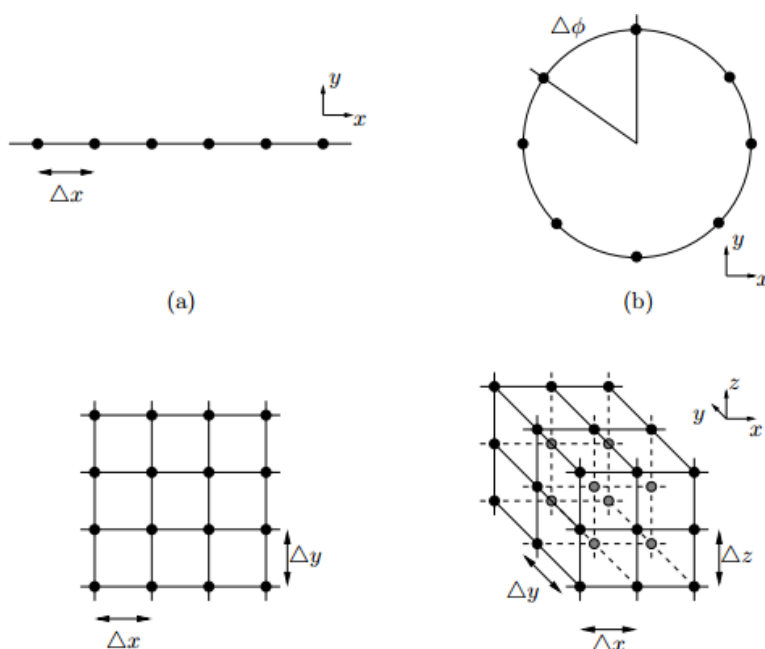
Slika 3.8 prikazuje shematski blok dijagram prijemnika smart antene sa  $M$  elemenata. Uz samu antenu imamo još i radijsku jedinicu, jedinicu za kreiranje snopa, i jedinicu za obradu signala. Broj elemenata u nizu treba biti relativno mal (minimalan koji je potreban za rad) kako bi se izbjegla bespotrebna kompleksnost jedinice za obradu signala.

Antenski nizovi mogu biti jednodimenzionalni, dvodimenzionalni i trodimenzionalni, ovisno o dimenziji prostora u koji želimo ući. Slika 3.9 prikazuje različite geometrijske nizove koji se mogu primijeniti u implementaciji prilagodljivih antena. Prva struktura se koristi primarno za kreiranje snopa samo u horizontalnoj ravnini (azimut). Ona je obično dovoljna za potrebe vanjskog prostora. Prvi primjer (a) pokazuje jednodimenzionalni linearni niz, takav niz može kreirati snopove u jednoj ravnini unutar sektora kuta. Ovo je najčešća struktura zbog male kompleksnosti. Drugi primjer (b) prikazuje kružni niz, ovakav niz može kreirati snop u bilo kojem smjeru ali, zbog simetrije, više je primjeren azimutnom kreiranju snopa. Zadnje dvije (c i d) strukture se koriste za dvodimenzionalno kreiranje snopa, i u azimutnom kutu i kutu elevacije.

Ovakve strukture se koriste za unutrašnji prostor i gusto naseljene prostore. Četvrti primjer (d) prikazuje trodimenzionalnu kubičnu strukturu. Da bi se kreirao snop u svim smjerovima i svim prostorima potrebna je kubična ili sferna struktura.



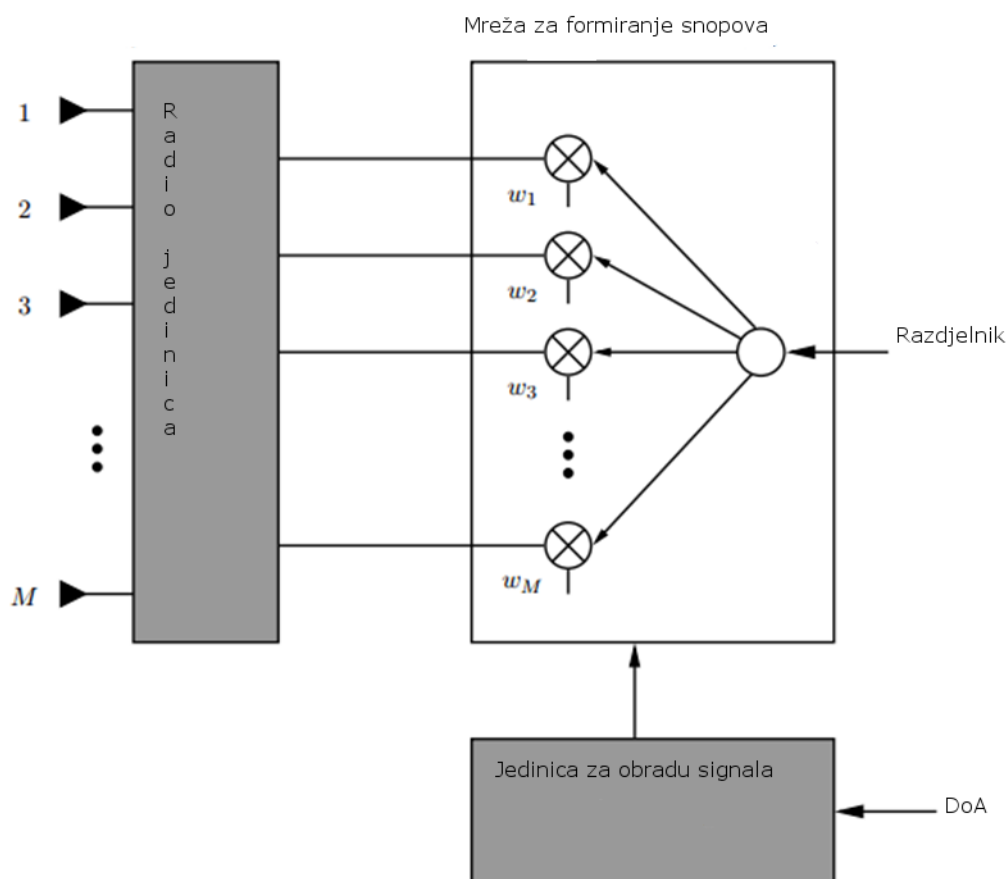
Slika 3.8 Prijemnik smart antene [5]



Slika 3.9 Geometrijski nizovi (a) homogeni linearni; b) kružni; c) dvodimenzionalni niz rešetki; d) trodimenzionalni niz rešetki) [5]

### 3.3.2. Predajnik smart antene

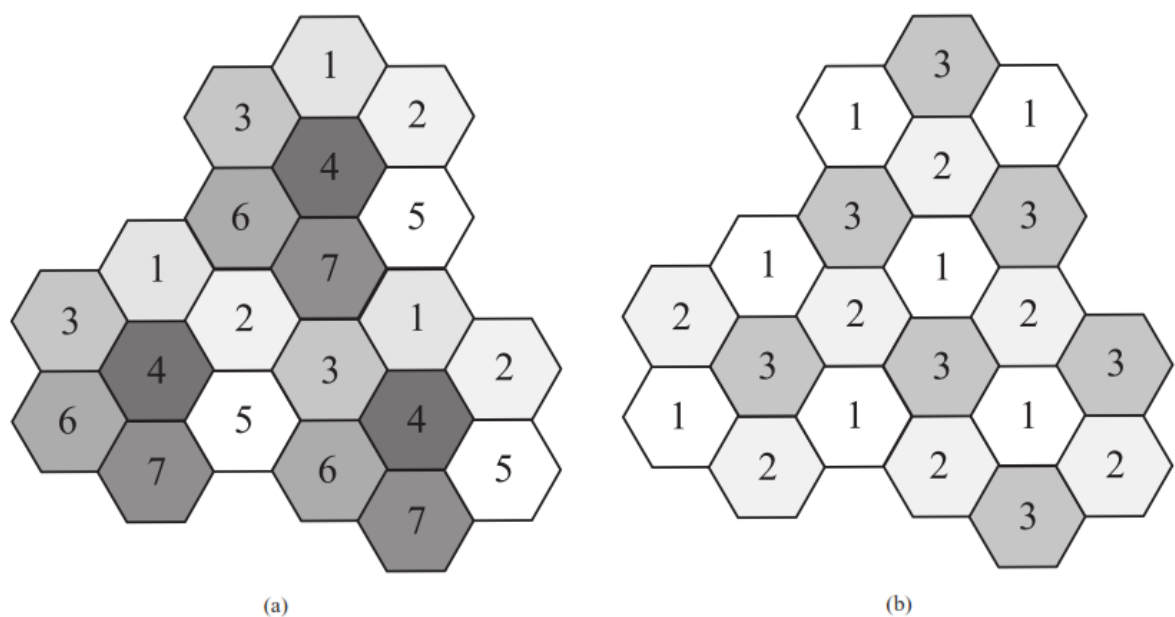
Inače se prilagodljivi proces koristi samo za uzlaznu vezu (eng. *uplink*)/primanje (od mobilnog uređaja do bazne stanice). U tom slučaju mobilni uređaj prima manje prijenosne snage, i operacijsko vrijeme baterije je produženo. Iako, prednosti prilagodbe su ograničene ako se ne primjenjuje kreiranje snopa od bazne stanice do mobilnog uređaja. U principu metode korištene za uzlaznu vezu mogu se prenijeti na silaznu vezu (eng. *downlink*). Predajni dio smart antene shematski je jako sličan prijemnom dijelu. Slika 3.10 prikazuje predajnik smart antene. Signal se dijeli na  $M$  grana, koje su otežane u jedinici za kreiranje snopa. Težine koje određuju radijski uzorak u smjeru skidanja, izračunate su prije digitalne obrade signala. Radijska jedinica ima digitalno-analogne pretvarače i uzlazne pretvaračke lance. U praksi, neke komponente, kao što su sama antena i jedinica za digitalnu obradu signala, bit će jednake kao u prijemnom dijelu. Osnovna razlika između uzlazne i silazne veze je ta što nema smart antene primijenjenih na mobilne stanice, postoje samo ograničene informacije stanja kanala. Zbog toga je kreiranje snopa u silaznoj vezi teško i ne može imati istu učinkovitost kao uzlazna veza.



Slika 3.10 Predajnik smart antene [5]

### 3.4. Prednosti i nedostaci smart antenna

Za očekivati je da će uvođenje smart antenna imati veliki utjecaj na planiranje, razvoj i performanse mobilnih komunikacijskih mreža. Smart antene imaju dvije velike prednosti, a to su povećani kapacitet i doseg. U gusto naseljenim područjima glavni izvor šuma je smetnja među korisnicima. Prilagodljivi nizovi bi trebali istovremeno povećati razinu korisnog primljenog signala i smanjiti nivo smetnje čime bi se osiguralo poboljšanje u odnosu signala prema nivo smetnje (eng. *Signal to Interference Ratio*, SIR). Na povećanje SIR-a utječe mogućnost za smanjenjem razmaka ponovne uporabe iste frekvencije. To dovodi do povećanja kapaciteta jer više nosioca može biti dodijeljeno jednoj ćeliji. SIR ima veliki utjecaj u TDMA sustavima (GSM). Slika 3.11 prikazuje primjer u kojem se tradicionalni sedam-ćelijski klaster smanjuje na tri-ćelijski. To dovodi do povećanja kapaciteta od  $7/3$ . [5]



Slika 3.11 (a) sedam-ćelijski klaster (b) tri-ćelijski klaster [5]

Korištenjem smart antenna, moguće je povećati raspon pokrića bazne postaje budući da se energija može usmjeriti prema određenim korisnicima za razliku od npr. omnidirekcijskih antena. Prema tome, bazne stanice mogu se locirati na većim međusobnim udaljenostima što dovodi i do manjeg troška implementacije. Smart antene su prvenstveno namijenjene ruralnim i rijetko naseljenim područjima (npr. Lika i Gorski kotar) budući da je u takvim područjima pokrivenost bitnija od kapaciteta. Koristeći prijemne i predajne snopove koji su umjereni prema mobilnim korisnicima od interesa, višestruki put i međusimbolna interferencija uslijed višestazne propagacije koja je prisutna u mobilnim mrežama su ublaženi.

Bitna prednost smart antenna je i sigurnost. U društvu koje postaje sve više i više ovisno o poslovanju koje se temelji na razmjeni osobnih podataka, sigurnost je bitna stavka. Smart antene otežavaju prisluškivanje veze zato što bi uljez morao biti lociran u istom smjeru kao i korisnik „žrtva“ gledano iz perspektive bazne stanice.

S obzirom na prirodu smart antenna a to je prostorno otkrivanje, mreža mora imati pristup prostornim informacijama o korisnicima. U ovom sustavu ova informacija se može lakše iskoristiti nego u postojećim mrežama od neželjenih strana, kako za dobre (npr. hitni slučajevi) tako i za loše slučajeve (npr. praćenje korisnika).

Korištenje smart antenna ima mnoge prednosti, ali postoje također i bitni nedostaci. Jedan od njih je komplicirana izvedba primopredajnika. Svaki element antenskog niza mora imati svoj primopredajnik i moraju biti kalibrirani u stvarnom vremenu. Prilagodljivo formiranje snopova je računalno zahtjevan proces i prema tome bazne stanice smart antenna moraju imati moćne procesore i kontrolne sisteme što dovodi do novčano zahtjevnija izvedba.

Smart antene su većinski radijska tehnologija ali postaviti će nove zahtjeve na mrežne funkcije poput upravljanjem resursima i mobilnošću. U SDMA različiti korisnici koriste isti fizički komunikacijski kanal u istoj ćeliji a jedina razlika je kut. Kada dođe do kutnih sudara između korisnika, jedan od njih mora brzo promijeniti kanal kako se ne bi prekinula veza.

Kako bi smart antenna postigla određeni dobitak potreban je antenski niz s nekoliko elemenata. Za vanjsko mobilno okruženje, uobičajeno se niz sastoji od šest do deset horizontalno razdvojenih elemenata. Nužan razmak između elemenata je  $0.4 - 0.5$  valnih duljina. Npr., antena od osam elemenata bi bila široko otprilike 1.2 metara s frekvencijom od 900 MHz i 60 cm pri 2 GHz. Slika 3.12 prikazuje antenski niz od osam elemenata koji radi na 1.8 GHz. Antena je vlasništvo Telia Research AB, Švedska.



**Slika 3.12** Prikaz antenskog niza [5]

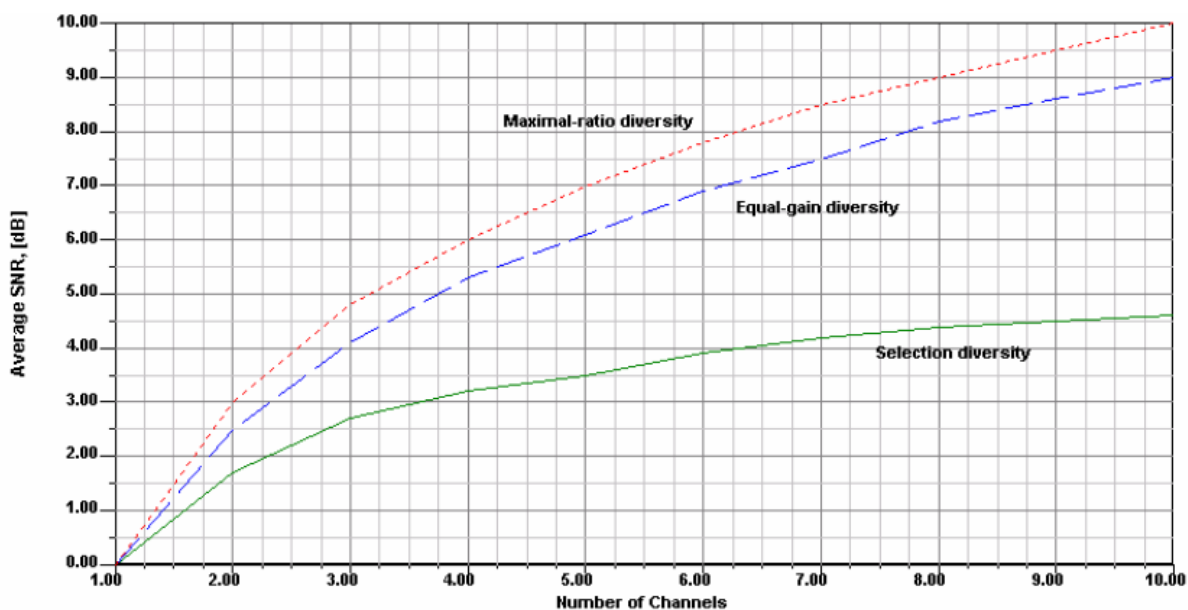


## 4. MJERENJA PROVEDENA NA SMART ANTENI

Izmjereni su odnose nekih parametara smart antena i kako se oni međusobno odnose.

### 4.1. Odnos signala i šuma u odnosu na broj kanala

Slika 4.1 prikazuje odnos signala i šuma (eng. *Signal To Noise Ratio*, SNR) u odnosu na broj kanala.

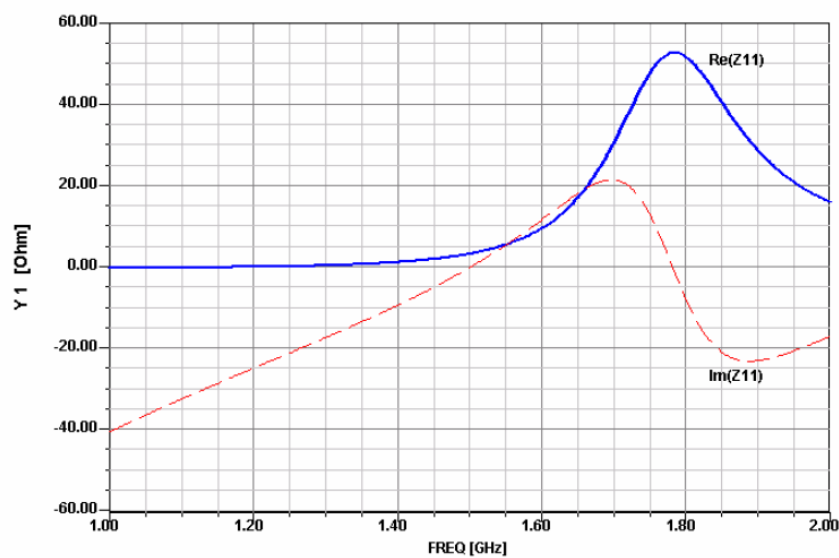


Slika 4.1 Odnos signala i šuma u odnosu na broj kanala [7]

### 4.2. Odnos impedancije i frekvencije

Slika 4.2 prikazuje odnos impedancije i frekvencije. Proračun je napravljen u programu Harmonica v6.7.

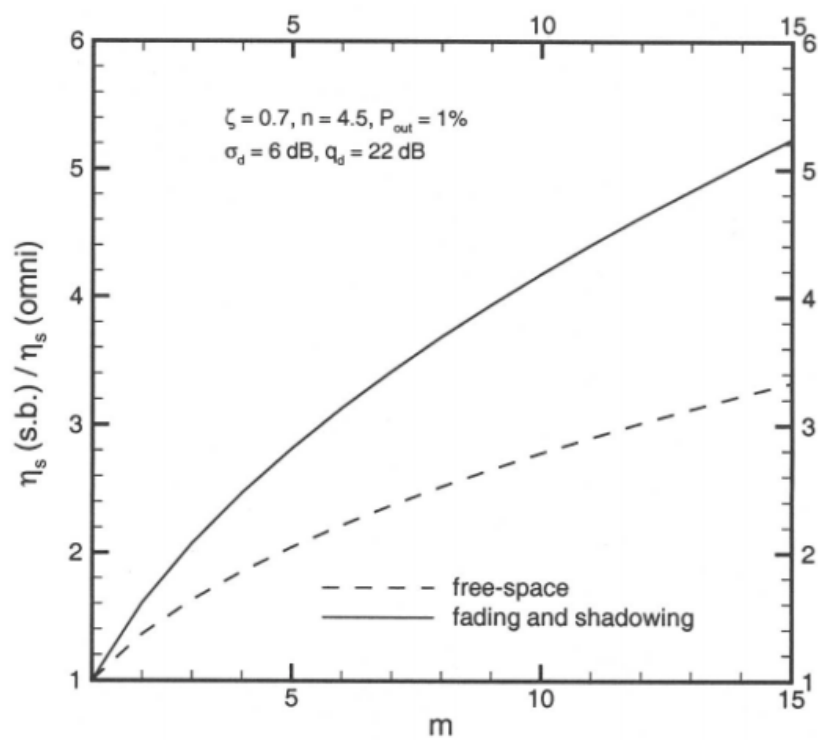
f:\roadshow2001\pcs3.pjt\matxdata\S\_4\_harmonica.ckt



Slika 4.2 Odnos impedancije i frekvencije [7]

### 4.3. Efikasnost spektra u odnosu na broj kreiranih snopova

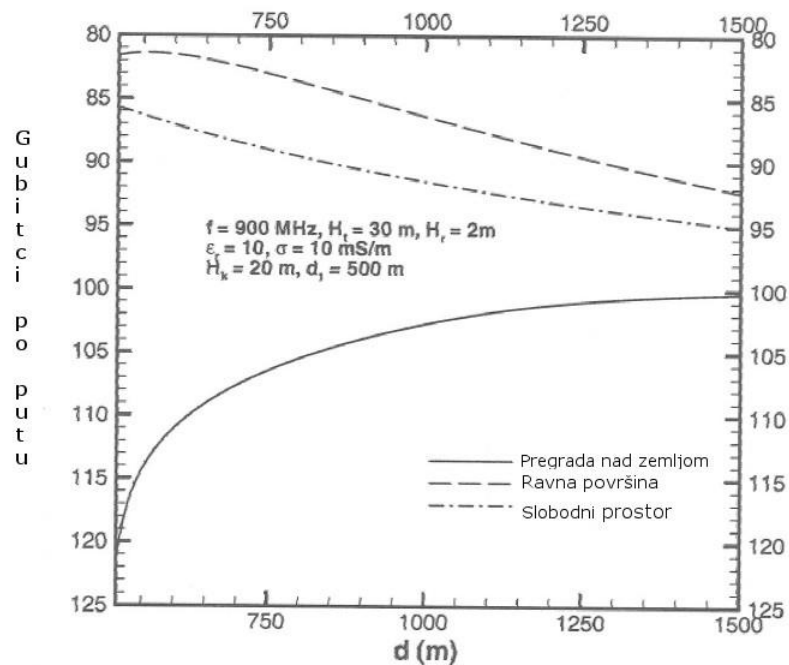
Slika 4.3 prikazuje efikasnost spektra u odnosu na broj kreiranih snopova.



Slika 4.3 Efikasnost spektra u odnosu na broj kreiranih snopova [8]

#### 4.4. Gubitci po putu između predajnika i prijemnika

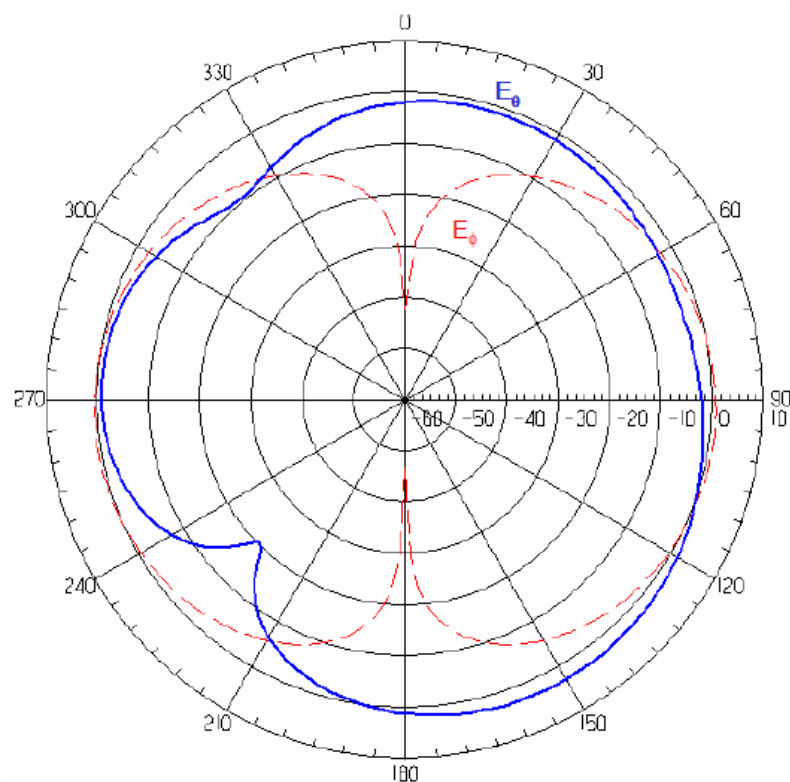
Slika 4.4 prikazuje gubitke po putu između predajnika i prijemnika. Promatrali su se gubitci u slobodno prostoru, na ravnoj površini i kada postoji pregrada nad zemljom.



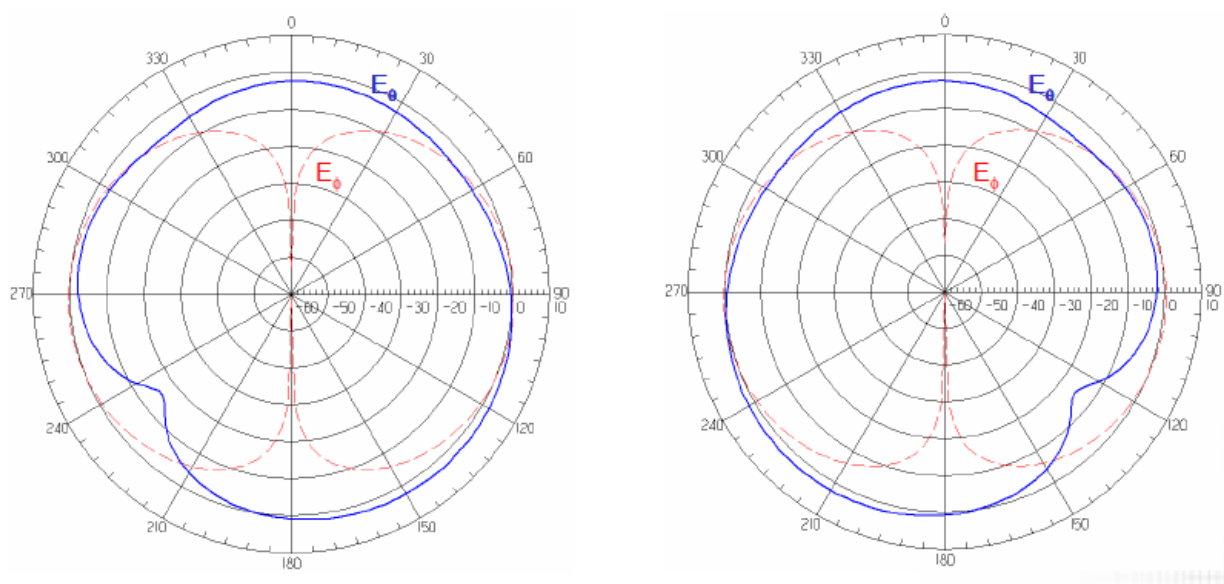
Slika 4.4 Gubitci po putu između predajnika i prijemnika [8]

#### 4.5. Dijagram zračenja

Slika 4. prikazuje dijagram zračenja a Slika 4. prikazuje dijagrame zračenja sustava s dvije antene.



Slika 4.5 Dijagram zračenja [7]



Slika 4.6 Dijagrami zračenja sustava s dvije antene [7]

## 4.6.Procjena troškova

Tablica 4.1 prikazuje procjenu troškova sustava Internet usluga (802.11 pri 144 Kbps)sa ili bez smart antena. Prvi redak govori koliko korisnika sustav može obuhvatiti, drugi govori o ukupnom trošku, treći govori o cijeni po korisniku a četvrti o periodu otplate.

**Tablica 4.1** Procjena troškova u sustavu sa i bez smart antene [6]

	<b>Bez smart antene</b>	<b>Sa smart antenom</b>
<b>Broj korisnika</b>	7500	37500
<b>Ukupna cijena (\$)</b>	2000000 \$	2500000 \$
<b>Cijena po korisniku</b>	270 \$	67 \$
<b>Period otplate</b>	6,7 godina	1,7 godina

## ZAKLJUČAK

Bežični sustavi su nedvojbeno neophodan dio modernog društva i postaju još bitniji kako postajemo „informatičko društvo“. Informacije su potrebne u što kraćem roku i na sve više mjesta. Tehnologija smart antene osigurava smanjenje osjetljivosti sustava na smetnje. Sustavi koji koriste smart antene rade u rasponu frekvencija od 450 Mhz do 6 Ghz, imaju veliku učinkovitost i visoku propusnost. Korištenjem smart antena, moguće je povećati raspon pokrivanja baznih postaja budući da se energija može usmjeriti prema određenim korisnicima. Bitna prednost smart antena je i sigurnost. U društvu koje postaje sve više i više ovisno o poslovanju koje se temelji na razmjeni osobnih podataka, sigurnost je bitna stavka. Korištenje smart antena ima mnoge prednosti, ali postoje također i bitni nedostaci. Jedan od nedostataka je komplicirana izvedba primopredajnika.

Najbitnija je stavka ovih sustava jest pouzdanost signala zbog zahtjeva korisnika, koji zahtjevaju odgovarajuću kvalitetu usluge. Korištenjem većeg broja antena povećava se pouzdanost signala.

Korištenjem smart antena uvelike se smanjuje cijena izvedbe antenskog sustava, a dimenzije elemenata su smanjene i do 75 puta. Antenski sustav smart antena može zamijeniti sve prijašnje antenske sustave.

## LITERATURA

- [1] S. Krile, A. Bjelopera, Predavanje „Antene“, Sveučilište u Dubrovniku, 2008
- [2] V. Mikac - Dadić, Predavanje „Fizikalna optika“, Fizika 2, Sveučilište u Zagrebu, 2008./2009.
- [3] Z. Šipuš, J. Bartolić, Predavanje „Antene“, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, 2012.
- [4] R. Nađ, Planiranje mobilnih sustava, , <http://www.qrz.com.hr/planiranje-mobilnih-sustava/>, datum pristupa 2.9.2015.
- [5] C. A. Balanis, P. I. Ioannides, Introduction to Smart Antennas, , Department of Electrical Engineering, Arizona State University, 2007.
- [6] I. Stevanović, A. Skrivervik and J. R. Mosig: Smart Antenna Systems for Mobile Communications : final report. Lausanne : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2003.
- [7] M. J. Omid, Smart Antenna Design, Isfahan University of Technology, 2007
- [8] R. Janaswamy, Radiowave Propagation and Smart Antennas for Wireless Communications, The Springer International Series in Engineering and Computer Science, 2001

## **SAŽETAK**

U ovom radu opisane su smart antene. U drugom poglavlju opisano je što je antena i što su parametri antena. U trećem poglavlju opisane su smart antene, način rada, izvedba i glavni dijelovi – predajnik i prijemnik te prednosti i nedostaci smart antena. U četvrtom poglavlju opisana su mjerenja provedena na smart anteni.

**Ključne riječi:** Smart antena, parametri antena, promjenjivi snop, prilagodljivi niz, predajnik, prijemnik

## **INTEGRATED SMART ANTENNAS**

### **ABSTRACT**

This paper focuses on smart antennas. The second chapter describes the antenna and antenna parameters. The third chapter describes the smart antenna, modes, performance and main parts - transmitter and receiver, and the advantages and disadvantages of smart antenna. The fourth chapter describes the measurements on smart antenna.

**Keywords:** smart antenna, antenna parameters, switched beam, adaptive array, transmitter, receiver



## **ŽIVOTOPIS**

Rajko Grabusin rođen je 30. rujna 1991. godine u Osijeku. 1998. kreće u Osnovnu školu Augusta Šenoe u Osijeku. Nakon završetka osnovne škole, 2006. godine Elektrotehničku i prometnu školu u Osijeku koju uspješno završava i stječe zvanje elektrotehničara. 2010. godine upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku.